“数字中国”建设背景下高校学生计算思维培养研究：热点、趋势与建议*

马晓飞　张尔赫

北京邮电大学经济管理学院　北京　100876

摘　要：[目的/意义] 培养具有计算思维的高校学生，是从“强化人才支撑”方面贯彻落实《数字中国建设整体布局规划》的重要举措。然而，我国高校学生计算思维能力培养途径不清晰，培养效果不显著的问题仍普遍存在。探索符合“数字中国”建设要求的高校学生计算思维培养途径至关重要。**[方法/过程]** 借助 CiteSpace 知识图谱工具，对 2006 年 3 月—2022 年 12 月发表于 SSCI 和 CSSCI 来源期刊的 940 篇计算思维领域的文献进行计量分析，挖掘适合高校学生的计算思维培养途径。**[结果/结论]** 研究发现：（1）计算思维培养研究方向主要聚焦于解决现实问题。（2）计算思维培养研究内容更关注跨学科交叉融合培养。（3）非计算机专业的计算思维培养课程教学形式和授课领域单一，缺乏体系化的课程设计。（4）计算思维培养研究力度国内总体低于国外。基于上述发现，从培养导向、学科交叉、课程设计、国际合作四个方面提出培养高校学生计算思维的具体建议。

关键词： 数字中国　人才培养　计算思维　文献计量

分类号： G255

1 引言

计算思维（Computational Thinking，CT）被视为一种适应未来所需的关键能力[1-2]。2006 年，卡内基·梅隆大学的周以真（Jeannette M. Wing）教授在美国计算机权威期刊《Communications of the ACM》上发表了题为《Computational Thinking》的论文，首次系统性地定义了计算思维，由此开启了计算思维大众化的全新历程[3-4]。该篇论文将计算思维定义为运用计算机科学的基础概念进行问题求解、系统设计以及人类行为理解等涵盖计算机科学之广度的一系列思维活动，着重强调了计算思维是一种思考方式，而不是具体的学科知识[5]。此外，也有学者认为计算思维是一种以编程为中心的技能[6]，在用计算思维解决问题时，人负责把实际问题转化为可计算问题，并设计算法让计算机去执行。还有学者认为计算思维具有跨学科实践的性质与学科依附性[7]，建立在计算机科学基础之上[8]，但并不一定要通过使用编程、算法或操作计算机本身来达成目的[9]。从本质上看，计算思维不仅是问题解决能力的体现，还是个体适应数字化环境与数字技术更迭的认知心理能力，是数字时代公民应具

---

* 本文系教育部人文社会科学研究青年基金项目（项目编号：19YJC630120），中国工程院重大战略咨询项目（项目编号：2019GCYGUO）研究成果之一。

作者简介： 马晓飞，副教授，博士，博士生导师，E-mail：maxiaofei@bupt.edu.cn；张尔赫，本科生。

备的基本素养[10]，世界各国都在加快步伐培养学生面向未来的计算思维能力[11]。

党的“二十大”报告提出要“加快建设数字中国”。2023 年 2 月 27 日，中共中央、国务院印发《数字中国建设整体布局规划》（以下简称《规划》）中“数据”一词共出现 21 次，明确提出要“推进数字技术与经济、政治、文化、社会、生态文明建设‘五位一体’深度融合”，并强调要“强化人才支撑”[12]。如何“充分发挥我国海量数据规模和丰富应用场景优势，激活数据要素潜能，做强做优做大数字经济，增强经济发展新动能，构筑国家竞争新优势”[13]，迫切需要大批具备“计算思维”能力的各行各业的高素质专门人才[14]。高校是各领域专业人才的重要培养基地，加强高校学生的计算思维能力已成为“数字中国”建设的必然要求。

然而，我国高校学生计算思维能力培养途径不清晰[15]，培养效果不显著的问题仍普遍存在，导致高校学生计算思维能力缺乏[16]，难以适应“数字中国”建设的人才需要。尽管已有学者意识到在高等教育阶段培养学生计算思维的重要性[17]，但关注高校学生计算思维培养途径的文献仍然偏少。国内外既有的关于培养学生计算思维的研究多集中在基础教育层面[18-19]，且关注在计算思维的内涵演化与特征修正[20-22]，测量工具开发与能力效果评估[23-25]，计算思维的教学模式与课程设计[26-28]等方面，缺乏对计算思维研究领域中有关教育培养的内容进行系统分析和总结。

本文将借助知识图谱工具梳理国内外计算思维教育研究领域的发展现状和发展趋势，在分析计算思维培养方式的基础上，探究计算思维对高校学生思维能力培养的影响，提炼出对高校学生计算思维培养的方法和途径，助力我国高校为“数字中国”建设提供有力的人才供给和支撑。

2 研究方法与数据收集

2.1 研究方法

文献计量分析采用数理统计方法来描述、评价和预测某领域研究现状与发展趋势。知识图谱则能够将某领域的演进历程通过多元、分时、动态和可视化的方式呈现在引文网络之中，有效帮助学者掌握该领域的知识基础[29]。本文综合采用文献计量方法与知识图谱工具对计算思维领域的研究文献进行梳理、统计和分析，借助 CiteSpace（6.1.6）可视化分析软件对计算思维研究领域的文献发文量与来源、主要国家机构的国际影响力分布、文献共被引与聚类情况、关键词共现与聚类情况等方面进行统计分析，阐述计算思维领域研究的发展现状与演化特点，进而为“数字中国”建设背景下高校学生计算思维培养途径的分析提供实证数据支持。其中，主要国家机构的国际影响力分布和文献共被引及聚类分析仅采用外文文献作为分析样本，其余分析将中外文献共同作为分析样本，原因在于：第一，国际影响力需要考察国际范围内的文献数据，分析中文文献则无法考察世界范围内各国的发文情况；第二，文献共被引及聚类分析需要足够数量的文献基础，检索到的相关外文文献数量远多于中文文献，在共被引分析层面效果更好；第三，在其余分析中综合比较中外文献既能够在国际层面对计

算思教育研究领域的先进经验进行借鉴，也能够在国内层面了解我国计算思维培养方式和现状，具有双重意义。

2.2 数据收集

本研究的数据收集遵循两个原则：一是确保数据能够反映国内外教育研究领域对计算思维的整体研究状况，所选文献对应的研究具有教育研究领域的专业性、可靠性与时效性，满足较高的质量水平；二是确保数据具有一定的可操性[30]。综上，本文选择两种学界公认的社会科学引文索引数据库进行数据收集，这两种数据库基本包含了计算思维教育教学领域的高质量论文：一是能够代表国际文献状况的权威数据库 SSCI；二是能够反映国内文献状况的权威数据库 CSSCI。前者以 Web of Science、后者以 CNKI 分别作为检索平台。

由于计算思维被正式定义与提出的时间为 2006 年 3 月，故将 2006 年 3 月—2022 年 12 月作为文献收集的时间范围，基本能涵盖计算思维所涉及到的国内外全部研究发展历程，确保数据的准确性。目前，计算思维作为学术专有名词，国外学者多以“Computational Thinking”或“CT”称之，尝试以“Computational Mind”等近义词汇在数据库中搜索仅得到个位数量的论文，故选择以“Computational Thinking”和“计算思维”为主题词进行数据检索。初始检索结果为：共得到 1130 篇文献，其中 SSCI 外文期刊文献 758 篇，CSSCI 中文期刊文献 372 篇。对初步检索到的文献进行精炼，在浏览文献题目、关键词和摘要后，按下列标准进一步筛检：（1）确保计算思维为主要论述主题的综述类论文。（2）以计算思维为主题的案例研究。（3）将计算思维的衡量作为关键变量的研究[30]。剔除不符合上述条件的文献后，最终得到 940 篇文献，其中 SSCI 外文期刊文献 630 篇，CSSCI 中文期刊文献 310 篇。

3 研究概况与基础

3.1 发表文献总体趋势

对上述精炼后的样本中有关计算思维研究的年度发文量进行统计，发现国内外的研究总体上都呈现逐年递增的趋势，表明计算思维为近年学术教育领域的研究热门，讨论度非常高，具有较强的时效性。但从国内外对比的角度来看，国内近年在计算思维领域的研究数量与增长幅度远远低于国外，反映出国内学界对计算思维的研究重视度与国际总体格局不相符，表明国内仍需大幅加强对计算思维培养领域的研究力度。

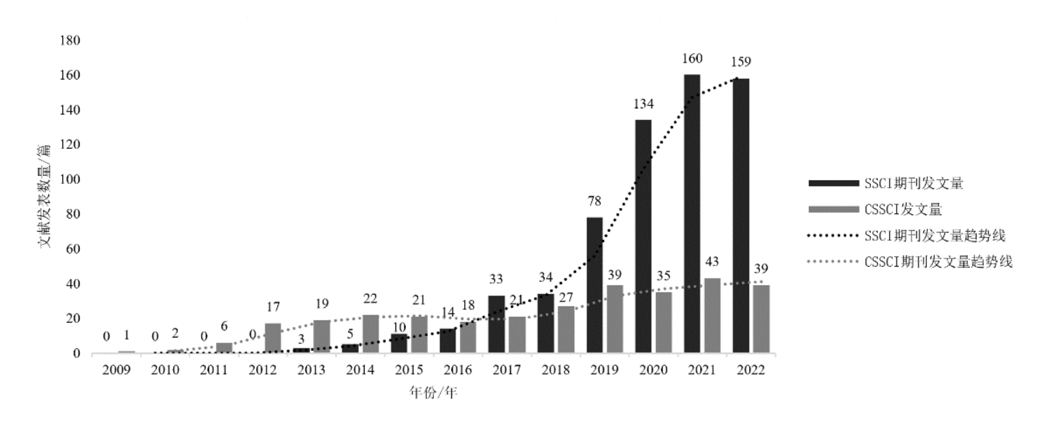


图 1 计算思维领域文献的时间分布（2006.3—2022.12）

3.2 主要国家与机构的国际影响力分布

通过 CiteSpace 对数据进行空间分布的可视化分析，梳理计算思维研究领域的国家与研究机构的国际影响力状况，分析样本为 630 篇外文文献。中心度越高，相关国家地区与学术机构的研究价值越为重要，且具有更高的影响力。结果如表 1 所示。在中心度排名前十的国家与地区中，美国在计算思维领域的研究实力最强，发表论文数量最多，西班牙、英国和荷兰等欧美发达国家位列前茅，中国位列第五。在中心度排名前十的研究机构中，中国台湾地区的高校研究实力较强，其余欧美顶尖科研高校紧随其后，中国大陆的高校位列第六。综合来看，我国在计算思维领域的研究虽有一定成果，但总体上仍落后于欧美等国，缺乏与其它国家和机构之间的深度合作研究。

表 1 SSCI 期刊国家与机构研究的中心度与发文量

国家	中心度	发文量	机构	中心度	发文量
美国	0.48	198	台湾师范大学	0.10	18
西班牙	0.20	51	麻省理工大学	0.09	5
英国	0.18	18	斯坦福大学	0.08	6
荷兰	0.11	10	范德堡大学	0.07	6
中国	0.08	94	美国西北大学	0.05	7
加拿大	0.07	20	北京师范大学	0.03	9
瑞典	0.07	14	马萨诸塞大学	0.03	2
德国	0.07	10	台湾科技大学	0.02	9
意大利	0.06	11	伊利诺伊大学	0.02	8
土耳其	0.05	59	嘉义大学	0.02	6

4 研究热点及发展演变

4.1 文献共被引和聚类分析

首先进行文献共被引分析，识别对计算思维领域研究发展起决定性作用的经典文献[30]。分析样本为 630 篇外文文献，其中被引文献反映了计算思维领域研究的知识基础，施引文献则反映了计算思维领域研究的前沿关注[31]，按照该节点规模的大小排序，被引量排名前 10 的文献可视为计算思维领域的经典文献[30]，有较大的参考价值，也构成了计算思维相关研究的主要理论贡献与知识基础，如表 2 所示。

这 10 篇文献所构筑的理论基础与研究内容包括五类：第一类，计算思维概念界定。具体包括 Shute 和 Weintrop 的研究，内容为通过系统的文献回顾与综述来完善计算思维的定义与细分维度等理论概念。第二类，计算思维指标体系构建。具体包括 Roman-Gonzalez 和 Korkmaz 的研究，内容为对计算思维的测量制定指标与量表，并进行信度效度的检验。第三类，计算思维能力效果评估。具体包括 Chen 和 Tang 的研究，内容为在实际应用中，对计算思维的逻辑推理与编程学习效果进行评估。第四类，计算思维教育应用案例。具体包括 Zhang 和 Saez-Lopez 的研究，内容为依托实际编程软件考察计算思维对教育的作用影响。第五类，计算思维培养方法。具体包括 Hsu 和 Atmatzidou 的研究，内容为探究如何学习、教学和提升计算思维的方法。这五类研究几乎涵盖了计算思维领域的所有研究主题，本文将重点关注第五类，即提升计算思维的培养途径研究。在第五类中，Hsu 的研究采用文献综述的方式系统梳理了计算思维的教学培养方法[1]，而 Atmatzidou 重点关注依托教育机器人的学习活动是否能有效培养不同年龄段学生与不同性别学生的计算思维[32]。这两篇论文为分析我国高校学生计算思维的培养途径提供了参考思路。

表 2 计算思维研究共被引频次排名前 10 的文献

节点作者	年份	文献名称	期刊名称	被引频次	中心度
Shute VJ	2017	揭示计算思维	ERR	124	0.06
Roman-Gonzalez M	2017	哪些认知能力是计算思维的基础？计算思维测验的标准效度	CHB	119	0.09
Weintrop D	2016	为数学和科学课堂定义计算思维	JSET	107	0.27
Hsu TC	2018	如何学习和教授计算思维：基于文献回顾的建议	C&E	94	0.08
Korkmaz O	2017	计算思维量表的效度和信度研究	CHB	81	0.08
Chen GH	2017	评估学生在日常推理和机器人编程中的计算思维	C&E	78	0.04
Tang XD	2020	评估计算思维：实证研究的系统回顾	C&E	73	0.03

Atmatzidou S	2016	通过教育机器人提高学生的计算思维技能：一项关于年龄和性别相关差异的研究	RAS	59	0.06
Zhang LC	2019	通过图形化编程工具学习计算思维的系统回顾	C&E	53	0.07
Saez-Lopez JM	2016	在课程中整合可视化编程语言：在五所学校使用创意编程软件的两年案例研究	C&E	51	0.13

注：ERR 为 Educational Research Review、CHB 为 Computers in Human Behavior、JSET 为 Journal of Science Education and Technology、C&E 为 Computers & Education、RAS 为 Robotics and autonomous systems 的缩写

进一步对共被引网络进行聚类，从施引文献的标题中提取聚类命名术语，分析样本仍为上述 630 篇外文文献，图 2 为聚类结果。每两个节点之间的连线表示两篇文献被共同引用过，节点大小表示被引频次的高低。在聚类分析中通过对同类节点进行汇总得到细分研究领域的类团，每个类团代表了一个研究领域的研究主题，各个类团的结构、组成和变化也代表着相应研究主题的知识结构及其变化[33]。时间较早的聚类是编号 7 和编号 9 的聚类“解决办法”和“途径手段”，时间较近的聚类是编号 0、编号 2 和编号 5 的聚类“编程锻炼”、“计算思维能力”和“创造性思维”，可见随着时间推移，对于计算思维的研究从寻找解决办法的方法探索阶段逐渐聚焦于借助编程手段解决现实问题的应用阶段，实现了由理论到实践的进化过程，并加大编程训练和教学力度，进一步向阐释编程思想、培养思维能力的层面发展，呈现出由浅入深的发展特征。

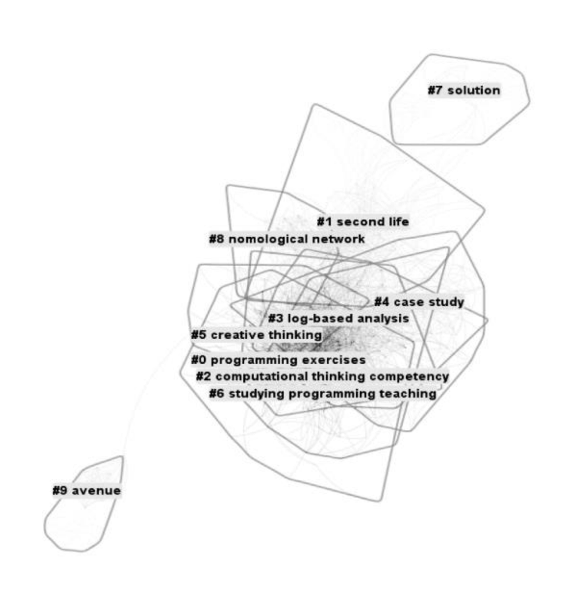


图 2 SSCI 期刊计算思维领域引文网络主要聚类

表 3 展示了计算思维引文网络中的聚类基本信息。Silhouette 指网络中聚类的同质性程度，值越大说明聚类中的节点同质性越高。除编号 1 聚类的 Silhouette 值为 0.698，几乎接近

0.7，其余表中所有聚类的 Silhouette 值均大于 0.7，可知类团的聚类结构基本都为显著，结果良好。通过论文阅读并根据各个聚类所含的主要关键词，总结出每一聚类的研究重点。从研究热点的特征来看：在计算思维学习内容层面，正逐步从单纯的程序开发转向依据学生特质的兴趣教育培养；在计算思维编程教育方面，目前的编程范式已逐步由面向过程转向面向对象，从整体和更高级、更全面、更贴近事务自然运行模式的角度进行程序设计。

表 3 计算思维引文网络中各个聚类的基本信息

聚类编号	聚类标签	规模	平均引用年份	Silhouette 值	关键词	研究重点
0	Programming exercises（编程锻炼）	92	2019	0.698	计算思维教育、编程实验	编程教育
1	Second life（第二人生）	84	2013	0.792	游戏开发、面向对象的编程概念	程序开发
2	Computational thinking competency（计算思维能力）	70	2018	0.729	科学建模课程、基于计算机评估	计算机建模
3	Log-based analysis（基于逻辑的分析）	62	2016	0.728	职业生涯、个人特质	逻辑能力
4	Case study（案例研究）	56	2015	0.779	学生成绩、计算机课程	学生计算思维评价体系
5	Creative thinking（创造性思维）	36	2018	0.852	机器编程	编程实践
6	Studying programming teaching（程序设计教学）	27	2017	0.806	结构方程模型、数学兴趣	数学建模
7	Solution（解决办法）	25	2010	0.967	设计、结构分类	计算思维解决问题具体方法
8	Nomological network（法理学网络）	23	2014	0.977	非认知因素、计算思维效应	计算思维在非智力因素层面的兴趣培养
9	Avenue（途径手段）	18	2012	1	创造性计算锻炼、学习促进	计算思维学习

注：Second life（第二人生）为一款美国网络虚拟社交游戏

4.2 关键词共现分析、聚类分析

4.2.1 共现分析

通过 CiteSpace 对文献所含关键词进行共现分析，分析样本为 310 篇中文文献和 630 篇外文文献。

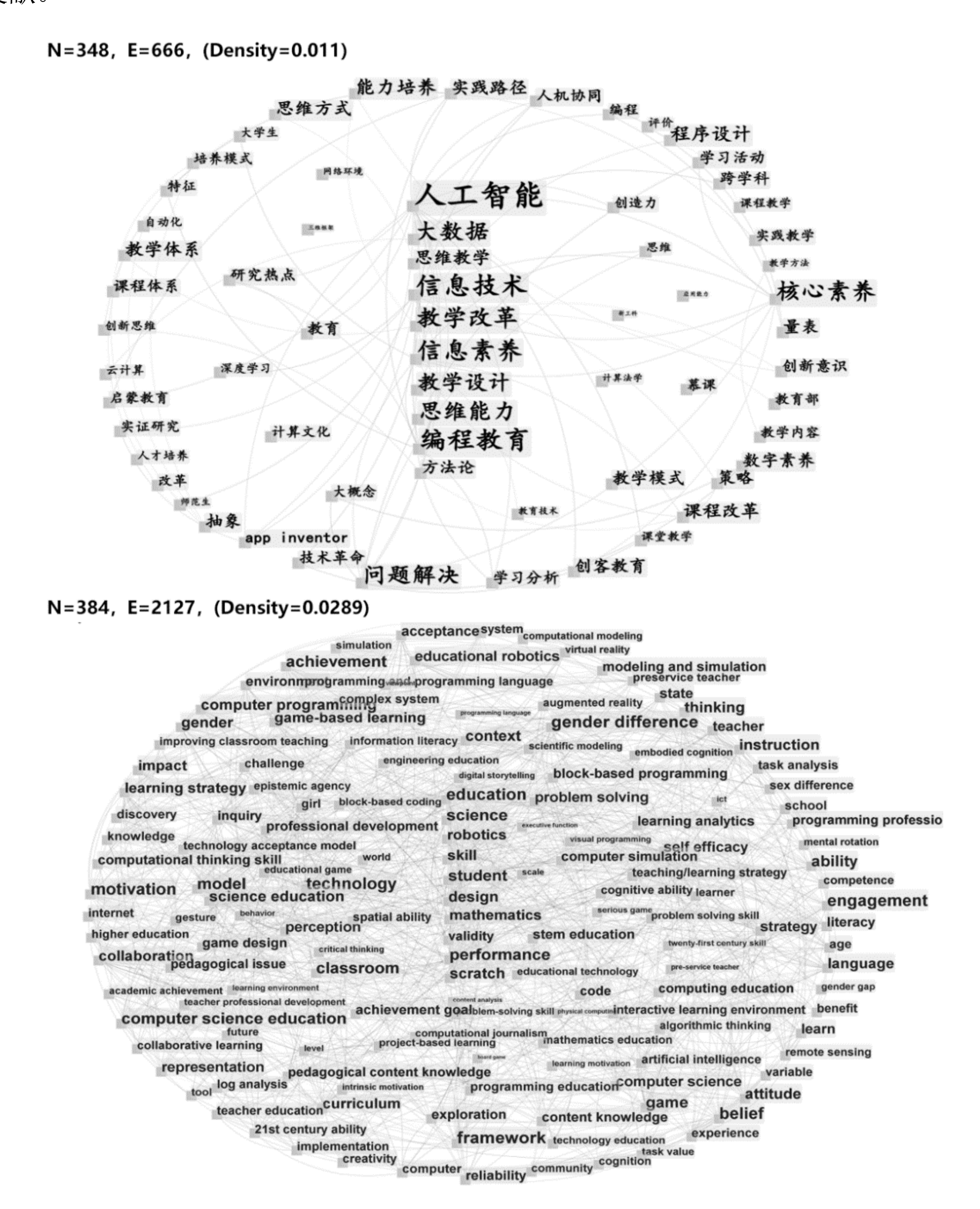


图 3 CSSCI 期刊和 SSCI 期刊主要关键词共现图谱

首先，对 310 篇 CSSCI 期刊的中文文献进行分析，共得到 348 个关键词节点。由于 CSSCI 期刊中计算思维领域的相关论文数量较少，防止以频次衡量关键词共现情况误差较大，则以中心度作为节点大小的排序标准。剔除出现频次过少或中心度过低的关键词以及“计算思维”本身包含的词语外，得到 65 个主要关键词及其共现图谱，如图 3 上半部分所示。中心度排名前 10 且与主题相关的关键词分别是“人工智能”、“大数据”、“思维教学”、“信息技术”、“教学改革”、“信息素养”、“教学设计”、“思维能力”、“编程教育”与“方法论”，可见计算思维在人工智能、大数据信息技术、信息技术素养培育、教学方法设计与改

革等领域都具有广泛研究，尤其在教育领域为热点研究话题。其次，对 630 篇 SSCI 期刊的外文文献进行分析，共得到 384 个关键词节点。由于 SSCI 中计算思维领域的相关论文数量充足，故直接以发文量作为节点大小排序标准。剔除出现频次过少或中心度过低的关键词以及“computational thinking”本身包含的重复词语外，得到个 151 个主要关键词及其共现图谱，如图 3 下半部分所示。出现频次排名为前 10 且与主题相关的关键词分别是“education”、“science”、“robotics”、“skill”、“design”、“student”、“mathematics”、“validity”、“performance”与“scratch”。其中，“education”、“student”和“skill”都明确隶属于教育领域，是关键词覆盖最多的应用领域，可见计算思维在教育领域的重要地位。

由关键词共现网络整体来看，外文文献的关键词共现数量比中文文献多。此外，外文文献的关键词共现网络密度为 0.0289，中文文献的关键词共现网络密度为 0.011。网络密度体现网络中不同领域间的紧密关系，越接近 1 表明网络越紧密。上述中外文献关键词共现网络的密度都较小，但国外计算思维研究领域的合作关系总体强于国内。这一结果表明国外计算思维教育研究的交叉合作虽有一定基础，但仍需进一步加强；国内的计算思维教育研究要在借鉴国外经验的基础上持续强化交叉合作。

4.2.2 聚类分析

关键词聚类分析指以词与词的共现强度为根据，把相互之间共现强度较大的词汇集成类的分析方法[31]。通过 CiteSpace 对计算思维领域的关键词进行聚类分析，分析样本为 310 篇中文文献与 630 篇外文文献。图 4 中的聚类标签是根据文献的关键词分词，使用 LLR 算法提取特征词进行提炼的。由于外文关键词聚类初始形成的网络可读性较差，故选用“pruning the merged network”和“pruning sliced networks”从整体和分时的角度对网络进行裁剪，中文关键词聚类网络不进行裁剪。中文文献的关键词聚类结果一共有 15 类，外文文献的关键词聚类结果一共有 16 类。图 4 中所展示的为中外文各自聚类标签排名前 10 的主要类团。

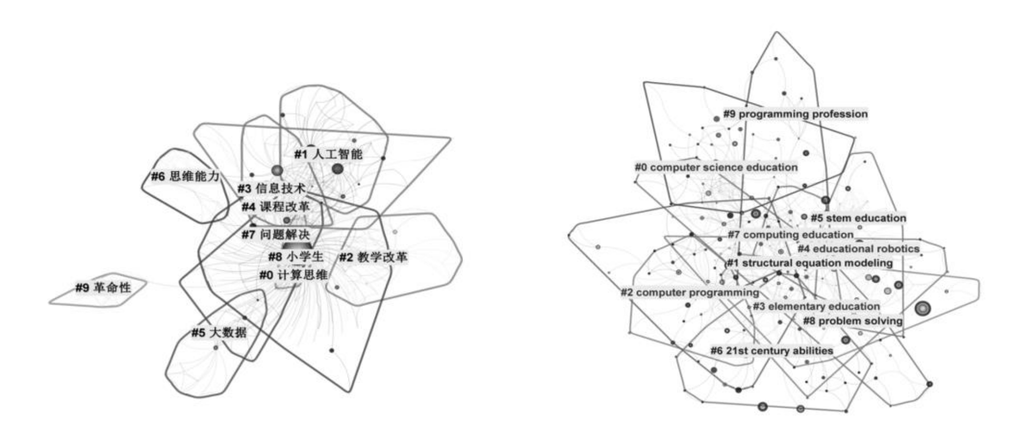


图 4 CSSCI 期刊与和 SSCI 期刊计算思维领域关键词主要聚类

表 4 进一步分别展示了中文文献和外文文献中与主题相关的关键词聚类具体信息，所有聚类的 Silhouette 值均在 0.9 附近，说明每个聚类的节点同质性都非常高，能够集中准确地反映出每一类研究的核心主题，具有较高信度。从时间顺序看，中文文献中出现时间较早的聚类是编号 2、编号 6 与编号 9 的聚类“教学改革”、“思维能力”与革命性，其次出现的聚类是编号 3、编号 4 和编号 5 的“信息技术”、“课程改革”和“大数据”，时间较近的聚类是编号 1 的聚类“人工智能”和编号 7 的聚类“问题解决”。聚类结果表明早期计算思维概念的出现为教育与科学领域带来了较大的变革冲击，随着时间推移，对大数据技术的掌握和信息素养的要求不断提高，近年计算思维相关研究逐步转向人工智能领域与问题解决能力的培养。外文文献中出现时间较早的聚类是编号 2 的聚类“计算机编程”，其次出现的聚类是编号 4、编号 5 和编号 8 的“机器教育”、“Stem 教育”和“问题解决”等，时间较近的聚类是编号 1、编号 6 与编号 7 的聚类“结构方程模型”、“21 世纪技能”与“计算机教育”等，同样涉及教育与科学领域，并强调计算思维作为一种技能的重要性。此外，中外文献关键词聚类结果都反映出高校现有计算思维的教育培养缺乏对非计算机相关专业的重视。

表 4 计算思维领域关键词各个聚类的基本信息

CSSCI 中文文献					SSCI 外文文献				
聚类编号	聚类标签	规模	平均引用年份	Silhouette 值	聚类编号	聚类标签	规模	平均引用年份	Silhouette 值
0	计算思维	85	2017	1	0	Computer science education（计算机科学教育）	43	2018	0.865
1	人工智能	41	2018	0.906	1	Structural equation modeling（结构方程模型）	40	2019	0.873
2	教学改革	24	2013	0.962	2	Computer programming（计算机编程）	35	2015	0.952
3	信息技术	23	2017	0.953	4	Educational robotics（机器教育）	31	2017	0.902
4	课程改革	18	2015	0.916	5	Stem education（Stem 教育）	25	2017	0.915
5	大数据	17	2015	0.989	6	21st century abilities（21 世纪技能）	24	2020	0.881
6	思维	14	2012	0.99	7	Computing education	24	2019	0.866

	能力					（计算机教育）			
7	问题解决	13	2019	0.87	8	Problem solving（问题解决）	23	2018	0.941
9	革命性	8	2013	0.999	9	Programming profession（程序设计专业）	19	2019	0.83

4.3 突现词分析

突现词即在某时间段被反复提及，次数大幅度增加的关键词, 利用突现词可以探索某一阶段的研究热点领域[34]。计算思维国内外研究的突现词分析如表 5 所示，分析样本包括 310 篇中文文献与 630 篇外文文献。中文研究中的突现词从 2009 年开始出现，突发时间段较分散，基本集中于近十年；外文研究中的突现词从 2013 年开始出现，突发时间段则重点集中在 2014—2020 年这六年间。

在中文文献层面可以将研究趋势分为三个发展阶段：早期（2011 年—2015 年）涉及基础的程序设计领域，注重教学改革和技能的初步建立；中期（2016 年—2019 年）不断提升计算思维的素养地位，加深核心能力的培养与关注；近期（2020 年—2022 年）则在人工智能、编程教育和跨学科等新型教育领域加深计算思维的培养力度。

在外文文献层面可以分为两个发展阶段：早期（2014 年—2017 年）较多的将计算思维应用于到游戏开发与程序设计等领域；后期（2018 年—2020 年）开始将计算思维作为教学目标与自然科学教育内容整合进行全面培养，同时注重培养环境的建立与发展。

表 5 突现词分析

CSSCI 中文文献					SSCI 外文文献				
关键词	起始	结束	强度	突发时间线（2009-2022）	关键词	起始	结束	强度	突发时间线（2013-2022）
程序设计	2011	2012	1.6		interactive learning environment	2014	2015	2.01	
教学改革	2012	2015	4.1		game design	2015	2020	2.57	
抽象	2012	2014	1.91		programming language	2016	2019	2.88	
能力培养	2012	2016	1.67		problem solving	2017	2019	2.56	

核心素养	2016	2019	2.13	computer programming	2018	2019	2.78
人工智能	2018	2022	5.42	science education	2019	2020	2.95
编程教育	2018	2022	2.43	environment	2020	2021	1.96
跨学科	2020	2022	1.72				

5 研究结论与建议

在与主题相关的文献计量分析的基础上，本文基于研究发现对“数字中国”建设背景下高校学生计算思维的培养提出四点建议。

5.1 培养高校学生运用计算思维解决实际问题的观念与能力

计算思维培养研究方向以解决现实问题为目标。由中外文献的关键词聚类分析可知，国内外时间较近的聚类都包含以“问题解决”为关键词的类团。同时在引文网络的聚类结果与突现词分析中，时间最近的类团与突现词都与“编程教育”相关。上述特征表明，计算思维教育正呈现出通过学习和锻炼基础编程技术方法，培养编程思想和算法能力以解决实际应用问题的特点。通过创设具体应用情景，以由浅入深、技术教学和兴趣驱动的教育形式培养学生学习运用计算思维解决实际问题的高阶方法论，持续深化计算思维能力实践效果与培养贯通机制，成为计算思维教育教学的发展趋势之一。

当下中国的信息技术教育对培养学生创造能力和实际解决问题能力的关注度不够[35]。对高校学生计算思维的培养要以思维能力深化为导向，以解决现实问题为归宿，设置系统且复杂的现实问题情境让学生获取知识技能，将理论与实际场景的应用相结合，实现学生高阶思维能力的培养[4]。这也对教授计算思维课程的教师提出更高的能力要求，要求他们进一步打造注重思维训练的计算思维教学课程，为学生提供更多练习和展示的机会。

5.2 加强高校学生计算思维的跨学科培养与学科交叉融合深度

计算思维培养研究内容更关注跨学科交叉融合培养。在突现词分析中，发现“跨学科教学”成为 2020 年—2022 年在国内计算思维领域被提及次数最多的关键词，“science education”成为 2019 年—2020 年在国外计算思维领域被重点突出提及的关键词。这两个词汇所指代的培养内容正是当下计算思维关注度最高的新兴研究领域，前者明确与跨学科教育相关，后者与自然科学的整合培养与联合发展相关，表明计算思维在不同学科教育之间的交叉培养尚不充分，是未来的重点发展方向。

高校应深入探索“数字中国”建设要求下的计算思维跨学科培养方法，加强计算思维与学科专业课程的教法知识融合，注重通过兴趣引导，培养学生的跨学科学习能力。高校教师在计算思维教学过程中应注重教学方法、案例选取等方面的创新，帮助学生对计算思维产生知识共鸣。通过讲练结合、实操指导、小组合作与课外拓展等丰富多样的教学方式满足多种

专业学生习得具体计算思维技能的培养需求，因材施教以增加学生对计算课程内容的认同感和接受程度。计算思维与学科知识的融合，将对高校学生跨学科学习能力与创新性思维的提升起到显著作用，为将我国海量的数据规模优势转化为数据价值优势提供重要人才支撑。

5.3 重视高校非计算机专业的计算思维课程体系建设与课程设计

非计算机专业计算思维培养课程教学形式和授课领域单一，缺乏体系化的课程设计。在关键词聚类中发现目前对高校学生计算思维能力培养的关注度仍侧重于计算机相关专业领域，缺乏对其他专业学生的计算思维培养，忽视了计算思维在高校其他专业课程中的教学应用。这说明高校非计算机相关专业学生的计算思维培养课程体系建设、课程设计研究的重视度不足，亟需在其他非计算机专业领域开展更多计算思维相关的理论研究和教学实践，按照《规划》要求，培养支撑“数字中国”建设的“创新型、应用型、复合型人才”。

加强计算思维相关的课程设计，开发更加体系化且有针对性的教学内容。在培养方案层面加强不同学科专业计算思维课程体系建设，制定规范的计算思维课程标准，增加计算思维课程的授课量。在课程融合层面，开展融合教育课程改革，将计算思维作为方法而非技术嵌入不同的学习模块中，让学生设计最基本的学科教学案例并进行集中教学展示[36]，为学生提供自主发挥的空间，有助于学生运用自身经验发展计算思维与自身学科之间的联系，形成实践性知识。实验类课程可按层次与阶段进行设计，由基本验证类实验入门，循序渐进拓展至综合设计类与研究创新类实验，形成不同深度和广度的实验教学体系以逐步强化计算思维的能力。

5.4 扩大高校计算思维教育研究和实践的国际交流与合作

计算思维培养研究力度国内总体低于国外。通过国内外计算思维研究发文量对比，结合主要国家机构分布结果，发现目前国外对于计算思维培养的研究数量远高于国内。关键词共现网络进一步表明国外一些高校在计算思维教育研究和实践领域具有一定的交叉合作基础，研究的合作强度相对高于国内。国内的计算思维教育研究应在借鉴国外经验的基础上，不断强化交叉合作。

我国高校需“坚持立足国情”，以《规划》提出的“构建开放共赢的数字领域国际合作格局”为目标[12]，进一步扩大计算思维教育研究和实践的国际交流与合作，扩大合作体系，增强国际竞争力和学术贡献度，借鉴国际经验以培养高层次、高水平的计算思维教学师资和复合型人才。注重计算思维领域的人才引进，开展国内国外“双协同”人才培养模式。完善国内高校学生计算思维全链条培养机制，落实《规划》中对人才数字素养与技能发展的培育要求，提高我国高校在数字时代人才培养的国际竞争力。

参考文献：

[1] HSU T C, CHANG S C, HUNG Y T. How to learn and how to teach computational thinking: Suggestions based on a review of the literature[J]. Computers & Education, 2018, 126: 296-310.

[2] WING J M. Computational thinking: What and why? [EB/OL].[2010-11-17]. https://www.cs.cmu.edu/~CompThink/resources/TheLinkWing.pdf.

[3] SHUTE V J, SUN C, ASBELL-CLARKE J. Demystifying computational thinking[J]. Educational Research Review, 2017, 22: 142-158.

[4] 张立国，王国华. 计算思维:信息技术学科核心素养培养的核心议题[J].电化教育研究, 2018, 39(05):115-121.

[5] WING J M. Computational thinking[J]. Communications of the ACM, 2006, 49(3): 33-35.

[6] KITE V, PARK S, WIEBE E . The Code-Centric Nature of Computational Thinking Education: A Review of Trends and Issues in Computational Thinking Education Research:[J]. SAGE Open, 2021, 11(2):1501-1514.

[7] 于颖，周东岱，于伟.计算思维的意蕴解析与结构建构[J].现代教育技术，2017，27(05):60-66.

[8] 邓磊，战德臣，姜学锋. 新工科教育中计算思维能力培养的价值探索与实践[J].高等工程教育研究, 2020(02):49-53.

[9] WEINTROP D, BEHESHTI E, HORN M, et al. Defining computational thinking for mathematics and science classrooms[J]. Journal of science education and technology, 2016, 25: 127-147.

[10] 王佑镁，南希烜，李宁宇等. 编程韧性：数字时代计算思维培养的新议题[J].现代教育技术, 2023, 33(02):14-23.

[11] 任友群. 为数字中国培养“计算思维+”新一代[J].中国信息技术教育, 2018(05):7.

[12] 中共中央、国务院.《数字中国建设整体布局规划》[EB/OL]. [2023-02-27]. http://www.gov.cn/zhengce/2023-02/27/content_5743484.htm

[13]中共中央、国务院.《中共中央 国务院关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》[EB/OL]. [2022-12-19]. http://www.gov.cn/zhengce/2022-12/19/content_5732695.htm

[14] 马费成，吴逸姝，卢慧质. 数据要素价值实现路径研究[J/OL].信息资源管理学报:1-8[2023-04-15].

[15] 吕洁，李瑛，杜晶. 以计算思维为导向的大学计算机基础课程改革的实践与探索[J]. 计算机工程与科学, 2019, 41(S01): 1-5.

[16] 房敏，孙颖，陈伟，等. 师范生计算思维发展现状与影响因素——基于津冀鲁三地高校的调查[J].开放教育研究, 2021, 27(04):98-110.

[17] 范文翔，张一春，李艺. 国内外计算思维研究与发展综述[J].远程教育杂志，2018,

36(02):3-17.
[18] 孙立会，王晓倩．计算思维培养阶段划分与教授策略探讨——基于皮亚杰认知发展阶段论[J]．中国电化教育, 2020 (3): 32-41.
[19] 杨文正．学习情境链创设视域下的计算思维培养模式[J].现代远程教育研究，2021, 33(05):72-81.
[20] 陈赞安，李宁宇，尹以晴，柳晨晨，王佑镁．从算法到参与构建计算模型:人机协同视域下计算思维的内涵演进与能力结构[J].远程教育杂志, 2021,39(04):34-41.
[21] 冯友梅，王珊，王昕怡，周彤彤．支持我国信息技术课程评价体系构建的计算思维描述框架设计[J].电化教育研究, 2022, 43(06):115-121.
[22] LEE I, MALYN-SMITTH J. Computational thinking integration patterns along the framework defining computational thinking from a disciplinary perspective[J]. Journal of science education and technology, 2020, 29: 9-18.
[23] 郁晓华，王美玲．流程图支持下的计算思维培养实践研究[J]．中国远程教育, 2019 (9): 83-91.
[24] 郁晓华，王美玲．计算思维培养之路还有多远?——基于计算思维测评视角[J]．开放教育研究, 2020, 26(1): 60-71.
[25] COBAN E, KORKMAZ Ö. An alternative approach for measuring computational thinking: Performance-based platform[J]. Thinking Skills and Creativity, 2021, 42: 100929.
[26] 丁世强，王平升，赵可云，阎昭斐，杨鑫．面向计算思维能力发展的项目式教学研究[J]．现代教育技术, 2020,30(09):49-55.
[27] 杨刚，张银荣，徐佳艳，曾群芳，陈赛．图形化编程环境下建模方式对学生计算思维与编程行为的影响研究[J].电化教育研究, 2022, 43(04):107-115.
[28] CHEN K Z, CHI H H. Novice young board-game players' experience about computational thinking[J]. Interactive Learning Environments, 2022, 30(8): 1375-1387.
[29] 李杰，陈超美. CiteSpace：科技文本挖掘及可视化[M].北京：首都经济贸易大学出版社，2016.
[30] 肖海林，董慈慈．突破性技术创新研究:现状与展望——基于 SSCI 和 CSSCI 期刊的文献计量分析[J].经济管理, 2020, 42(02):192-208.
[31] 盛宇平，王树贵，盛春蕾．作者机构指标纳入学术期刊评价重要指标的探讨[J].现代情报, 2018, 38(05):117-119+139.
[32] ATMATZIDOU S, DEMETRIADIS S. Advancing students' computational thinking skills through educational robotics: A study on age and gender relevant differences[J]. Robotics and autonomous systems, 2016, 75: 661-670.
[33] 谢卫红，李忠顺，李秀敏，等．数字化创新研究的知识结构与拓展方向[J].经济管理,

2020, 42(12):184-202.
[34] CHEN C. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American society for information science and technology, 2006, 57(3): 359-377.
[35] 陈鹏, 黄荣怀, 梁跃, 张进宝. 如何培养计算思维——基于 2006-2016 年研究文献及最新国际会议论文[J].现代远程教育研究, 2018(01):98-112.
[36] MOUZA C, YANG H, PAN Y C, et al. Resetting educational technology coursework for pre-service teachers: A computational thinking approach to the development of technological pedagogical content knowledge (TPACK)[J]. Australasian journal of educational technology, 2017, 33(3):61-76.

作者贡献说明：
马晓飞：提出研究命题、研究思路，撰写及修改论文；
张尔赫：负责论文撰写数据采集与论文修改。

Research on the Cultivation of computational Thinking among college students under the background of "Digital China" : Hot spots, Trends and suggestions

MA Xiaofei, ZHANG Erhe
School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications，Beijing 100876

Abstract：[Purpose/Significance] Training college students with computational thinking is an important measure to implement the Overall Layout Plan of Digital China Construction in terms of "strengthening talent support". However, the training of computational thinking ability of Chinese college students is not clear, and the training effect is not obvious problems still exist. It is very important to explore ways to cultivate computational thinking of college students that meet the requirements of "Digital China" construction. **[Method/Process]** By means of CiteSpace knowledge graph tool, this paper makes a quantitative analysis of 940 literatures in the field of computational thinking published in SSCI and CSSCI source journals from March 2006 to December 2022, so as to find out suitable ways to cultivate computational thinking for college students. **[Result/Conclusion]** The research findings are as follows: (1) The research direction of computational thinking training mainly focuses on solving practical problems. (2) The research content of computational thinking training is more concerned with interdisciplinary fusion training. (3) The teaching form and teaching area of the training course of computational thinking for non-computer majors are single, and the lack of systematic course design. (4) The research intensity of

computational thinking training in China is generally lower than that in foreign countries. Based on the above findings, this paper puts forward some suggestions on training college students' computational thinking from four aspects: training orientation, interdisciplinary, curriculum design and international cooperation.

Keywords: Digital China　Personnel training　Computational thinking　Bibliometric